



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

“MATERIALES ALTERNATIVOS SOSTENIBLES
EMPLEADOS EN LA CONSTRUCCIÓN”: UNA
REVISIÓN DE LA LITERATURA CIENTÍFICA

Trabajo de investigación para optar al grado de:

Bachiller en Ingeniería Civil

Autor:

Viviana Lisset Angulo Zavaleta

Asesor:

Dr. José Cortegana Salazar

Cajamarca - Perú

2018

ACTA DE AUTORIZACIÓN PARA PRESENTACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

El asesor Dr. José Cortegana Salazar, docente de la Universidad Privada del Norte, Facultad de Ingeniería, Carrera profesional de Ingeniería Civil, ha realizado el seguimiento del proceso de formulación y desarrollo del proyecto de investigación del estudiante:

- Viviana Lisset Angulo Zavaleta

Por cuanto, **CONSIDERA** que el proyecto de investigación titulado: Materiales alternativos sostenibles empleados en la construcción, para aspirar al bachiller por la Universidad Privada del Norte, reúne las condiciones adecuadas, por lo cual, **AUTORIZA** al(los) interesado(s) para su presentación.

Dr. José Cortegana Salazar

Asesor

DEDICATORIA

A mis padres, puesto que son mi ejemplo e impulso para superarme día a día, tanto personal como profesionalmente.

A mi abuela Juana, porque, a pesar de ya no tenerla conmigo, ocupa un valioso e importante lugar en mi corazón, siendo constantemente mi motivación.

A mi abuela Marina, porque sé que siempre se alegra con cada uno de mis logros.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, porque todo lo que he podido lograr y alcanzar en mi vida es gracias a su voluntad y a la fe que tengo en Él.

A mi madre, Elizabeth Zavaleta, por su apoyo en el planteamiento de mi tema, y por el gran amor que me ofrece cada día, inspirándome siempre a seguir adelante.

A mi padre, Manuel Angulo, por su amor, exigencia, y porque, gracias a nuestras conversaciones sobre diversos estudios, pude encaminar mi investigación.

A mi asesor, José Cortegana, por su tiempo y apoyo en la correcta elaboración y culminación de esta revisión sistemática.

TABLA DE CONTENIDO

ACTA DE AUTORIZACIÓN PARA PRESENTACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	2
DEDICATORIA	3
AGRADECIMIENTO	4
ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	7
RESUMEN	8
ABSTRACT	9
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	10
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	14
CAPÍTULO III. RESULTADOS	15
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	24
REFERENCIAS	26
ANEXOS	28

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	22
---------------	----

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura I.....</i>	16
----------------------	----

RESUMEN

En la actualidad existe una preocupación por lograr que la industria de la construcción pueda disminuir su impacto negativo en el entorno, puesto que no solo consume gran cantidad de recursos, sino que genera residuos que contaminan el medio ambiente; es por ello que la presente investigación tiene por objetivo principal identificar qué es lo que se conoce sobre los materiales alternativos sostenibles empleados en proyectos de construcción entre los años 2009-2018, para posteriormente definir sus características y determinar su importancia en las construcciones sostenibles y en el medio ambiente.

Se seleccionaron 18 documentos de bases de datos de Google Académico, Dialnet, Redalyc, Scopus y Scielo, analizándose los datos mediante un cuadro que sintetizó la información de los principales hallazgos.

Existe una diversidad de tendencias y usos de materiales alternativos de construcción que están más allá de incorporar nuevos componentes dentro de su elaboración, fundamentándose en la evaluación de nuevas estrategias y métodos de selección de materiales, análisis del impacto ambiental que ocasionan y la evaluación de estos impactos; esto en base al reciclaje y reutilización de los materiales, midiéndose con diversos métodos, entre ellos el análisis del ciclo de vida.

PALABRAS CLAVES: Materiales alternativos, Construcción sostenible, Impacto ambiental, Ciclo de los materiales.

ABSTRACT

At present, there is a concern to ensure that the construction industry can reduce its negative impact on the environment, since it not only consumes a large amount of resources, but also generates waste that pollutes the environment; for this reason, the main objective of this research is to identify what is known about alternative sustainable materials used in construction projects between 2009-2018, to later define their characteristics and determine their importance in sustainable constructions and in environment.

It was selected 18 documents from Google Academic, Dialnet, Redalyc, Scopus and Scielo databases, analyzing the data through a table that synthesized the information of the main findings.

There is a diversity of trends and uses of alternative construction materials that are beyond incorporating new components in their development, based on the evaluation of new strategies and methods of material selection, environmental impact analysis and the evaluation of these impacts; this is based on the recycling and reuse of materials, measured by various methods, including the analysis of the life cycle.

KEYWORDS: Alternative materials, Sustainable construction, Environmental impact, Cycle of materials.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad se está prestando mayor atención e importancia a la concientización ambiental, teniendo en cuenta la sostenibilidad y sustentabilidad que involucra emplear los recursos del entorno sin afectar los recursos de las generaciones futuras; sabiendo entonces que los recursos son finitos y que se busca contribuir positivamente con el ambiente afectándolo en la menor medida posible, es necesario investigar sobre sobre métodos o estrategias que permitan utilizar los recursos existentes al máximo y evitar desperdicios.

La industria de la construcción es la principal consumidora de recursos naturales, así como generadora de residuos causando un impacto ambiental y contaminación desde el inicio de la construcción de un proyecto hasta su demolición. La edificación y las infraestructuras consumen entre el 45% y el 60% de los materiales extraídos de la litosfera y su utilización, junto a la actividad constructiva, está en el origen de la mitad de las emisiones de CO₂ vertidas a la atmósfera (Borsani, 2011). Debido a lo expuesto, actualmente se buscan nuevas alternativas respecto al uso de materiales que puedan brindar un equilibrio, sea reutilizando o reciclando los desperdicios y empleándolos como materia prima para nuevos productos y materiales.

En este sentido, es de gran importancia la elección de los materiales que se utilizan en la construcción. El proyectista, tanto arquitecto como ingeniero civil posee un gran impacto sobre el contexto energético-ambiental de la sociedad, por lo que debe ser consciente y analizar no sólo alternativas tecnológicas, sino información adecuada y objetiva e instrumentos que le permitan evaluarlas de una manera integral. (Wadel, Avellaneda, & Cuchí, 2010)

En su artículo, Roux, García, & Espuna (2014) han estudiado el estabilizante de Hidróxido de calcio para fabricar bloques de tierra comprimida, contrastando que produce menor impacto sobre el entorno natural y sobre la salud que el cemento; así mismo, al compararlo con materiales convencionales se obtuvo que produce menor cantidad de CO₂ que los bloques de concreto.

La elección de los materiales influye no sólo en el diseño sino en el rendimiento del proyecto. Los efectos que producen se dan en cada etapa de la vida útil de la construcción partiendo desde la fabricación de los materiales de construcción, el procesamiento, transporte, construcción, mantenimiento, demolición y reciclaje de los propios materiales; es por ello que la selección adecuada de los materiales influirá en el rendimiento medioambiental del edificio y del entorno. (Borsani, 2011)

Los impactos que producen los materiales de construcción están compuestos por variedad de componentes desde la red de inputs o entradas hasta los outputs o salidas, reflejando el gran interés por el estudio del ciclo cerrado de los materiales, en donde los residuos se vuelven a convertir en recursos y no se desechan al medio ambiente.

Haciendo uso de este ciclo cerrado de los materiales, una investigación plantea la construcción modular ligera bajo gestión de alquiler, que permite al término del contrato que todas las unidades regresen al parque industrial, recuperando los recursos invertidos y reduciendo el número de materiales que conforman el edificio, estableciendo que sean reciclados, que puedan reciclarse y que supongan un bajo impacto ambiental, que disminuya la cantidad de materia por unidad de servicio, que asegure que el sistema constructivo permita la sustitución de las partes y la desconstrucción total del edificio para recuperar los

materiales empleados, y que establezca que los materiales siempre serán gestionados en reciclaje y, de ser posible, empleando en ellos energías renovables. (Wadel et al., 2010)

El criterio para la elección de materiales alternativos como estrategias para disminuir el impacto ambiental se basan principalmente en reducir el uso de recursos primarios, teniendo: la reutilización de materiales, reduciendo el uso de materiales nuevos; reutilización de estructuras existentes en el lugar; reducción del uso de material, utilización de materiales durables; recuperación y reutilización de materiales en su totalidad; utilización de materiales regenerados de otras fuentes; reprocesamiento de materiales existentes para su uso en el mismo lugar; utilización de materiales y productos con mayor contenido y potencial de reciclaje y la utilización de materiales producidos a partir de recursos renovables (Borsani, 2011); debiéndose fomentar la investigación y desarrollo (I&D) no sólo en lo ya expuesto sino fomentar “I&D para la producción local de materiales de construcción utilizando recursos locales o regionales; así como para el mejoramiento de las características técnicas de materiales tradicionales o autóctonos”. (Acosta & Ciento, 2005)

Una vez seleccionados los materiales más convenientes dependiendo del tipo y uso de la edificación o proyecto, es necesario poder realizar una evaluación de los impactos ambientales ocurridos durante todas las etapas de construcción de los edificios es el análisis de ciclo de vida ACV establecida por las normas ISO 14040/43, permitiendo cuantificar el impacto medioambiental global mediante la contabilidad del consumo de recursos y de la emisión de residuos asociados a las distintas fases del ciclo de vida. (Wadel et al., 2010)

En base a la información definida anteriormente, es de gran importancia emplear nuevos materiales en la construcción, que sean favorables con el medio ambiente y que produzcan menor cantidad de residuos o, por el contrario, materiales que puedan emplear

estos residuos en su elaboración; es por ello que la presente investigación pretende describir ¿Qué se conoce sobre los materiales de construcción alternativos sostenibles empleados en el diseño de un proyecto en los últimos 10 años?; puesto que existe información respecto al tema, pero es poca la que está validada científicamente, de igual manera es necesario introducir otros conceptos que se refieran a estos materiales, como materiales no convencionales o materiales ecológicos y sustentables, diferenciando las características y eligiendo los que se refieren al tema que se intenta investigar.

En los últimos 10 años, diversos artículos han estudiado los materiales alternativos empleándolos de diferentes maneras en el diseño de un proyecto; evidenciándose su uso en cerramientos para lo que se ofrece confort acústico o térmico; otros se emplean en bases estructurales, con materiales no convencionales que ofrecen mayor resistencia y menor producción de CO₂; o el diseño de módulos flexibles y transformables, que luego de ser empleados pueden desarmarse y transportarse para volver a ser utilizados, evitando la generación de residuos. Todos estos artículos coinciden en que el uso de materiales alternativos es beneficioso para el rendimiento del edificio, contribuyendo con la disminución de contaminación e impacto al medio ambiente, reduciendo los residuos y aportando opciones para reciclar los materiales; todo ello medido a través del método del ciclo de vida para la construcción.

Debido a lo anteriormente expuesto, la presente revisión sistemática tiene como objetivo principal identificar qué es lo que se conoce sobre los materiales alternativos sostenibles que se pueden emplear en el diseño de proyectos de construcción entre los años 2009-2018, para posteriormente definir sus características y determinar su importancia en las construcciones sostenibles y, por ende, en el medio ambiente.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

La presente investigación es una revisión sistemática de la literatura científica, puesto que se basa en la recolección, organización, evaluación y síntesis de la evidencia respecto al tema de materiales alternativos sostenibles de construcción, con la finalidad de mejorar las prácticas actuales o para servir de base para nuevos enfoques de investigación. (Velásquez, 2014)

La información se obtuvo de las bibliotecas virtuales y bases de datos de Google Académico, Dialnet, Redalyc, Scopus y Scielo, seleccionándose artículos, libros, documentos institucionales, trabajos de grado, maestría o doctorado con fecha entre 2001 al 2008 como referentes históricos y del 2009 al 2018 como bases científicas de investigación; de idioma español e inglés; y utilizando las siguientes palabras clave: materiales de construcción alternativos, materiales no convencionales, ecológicos y sustentables para la construcción.

Los criterios de exclusión se basan en investigaciones que no se encuentren dentro de la base de datos descrita anteriormente, que sean de tipo de fuente como ensayos, presentaciones multimedia o publicaciones que no registren los requisitos para ser validados científicamente; de idiomas diferentes al español e inglés y que sean artículos sobre la construcción pero que no mencionen a los materiales alternativos sostenibles.

Para registrar los datos se elaboró un cuadro para organizar y sintetizar la información en los siguientes campos: referencia bibliográfica (la cual incluye autores y año), objeto de estudio, tipo de metodología y un breve resumen (Ver Anexo 1). El tipo de metodología se clasificó en base a los trabajos de Goodwin (1995), Cohen, Manion y Morrison (2007) e Higgins y Green (2011), teniéndose: revisiones, estudios descriptivos e investigaciones

experimentales, cuasiexperimentales y cualitativas. Los artículos científicos seleccionados fueron 18, los mismos que se importaron al software Zotero, para la gestión adecuada de las referencias y el descarte de duplicidad de las mismas.

Para analizar la información científica obtenida en base a los materiales alternativos sostenibles empleados en la construcción se agruparon los trabajos en áreas de relevancia como: características y usos, impacto que ocasionan, estrategias para disminuir el impacto ambiental y la evaluación de este impacto.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

Se encontraron 18 artículos de las bases de datos especificadas, todos cumplían con los criterios de inclusión indicados anteriormente, considerando que 10 de estos son de fecha 2001-2008, por lo que se consideran como referentes históricos mas no como base científica.

El mayor número de artículos analizados se obtuvieron de la base de datos de Google Académico, encontrándose 11 artículos científicos y 02 tesis de maestrías; de estas 13 investigaciones, 06 se encuentran dentro de la fecha 2009-2018 y las demás corresponden a referentes históricos. De la base de datos Dialnet se obtuvieron 02 artículos científicos, uno del año 2004 y el otro del 2013, de igual manera de Scopus se encontraron 02 investigaciones, ambas del año 2010; mientras que de Scielo sólo se obtuvo 01 artículo del año 2007.

Según el diseño, 16 de los estudios analizados en el presente trabajo fueron identificados como revisiones, todos del tipo descriptivo e investigativo.

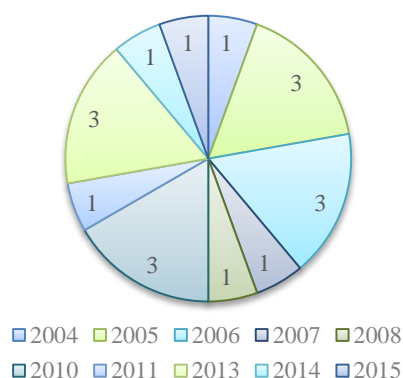


Figura 1. Se muestra la cantidad de artículos por año de publicación, observándose que desde el 2015 a la actualidad no se han encontrado artículos.

Se observa, que la mayor cantidad de artículos se obtuvieron en los años 2010 y 2013, los mismos que se dedican a temas sostenibles como los ciclos de los materiales y el estudio del impacto que ocasionan en el medio ambiente, así como la evaluación de la disminución de este impacto respecto al empleo de los materiales tradicionales.

Debido a que algunas investigaciones respondían a más de un enfoque, se ha optado por separar el análisis de acuerdo a las áreas de relevancia establecidas inicialmente: características y usos de los materiales de construcción alternativos sostenibles, impacto que ocasionan, estrategias para disminuir el impacto ambiental y la evaluación de este impacto.

Sobre las características y usos de los materiales de construcción alternativos sostenibles

De los artículos encontrados 07 tratan sobre algunas características y usos de materiales de construcción alternativos, en estas investigaciones se realizan estudios y experimentos para comparar el comportamiento del nuevo material que emplea materiales reciclados o componentes sustituyentes para la elaboración de nuevos materiales alternativos, además de comprobar “como se reduce significativamente el impacto ambiental sin incrementar el económico” (Marrero, Martínez-Escobar, Mercader, & Leiva, 2013, p. 1).

Se tiene un estudio en donde se plantea la utilización de desecho de PVC como un adicional para la subbase granular, el mismo que en comparación con la subbase granular común, presenta mayor resistencia y menor peso. (Rodríguez, Rondón, Vélez, & Aguirre, 2006)

De igual manera se elaboró un material compuesto de fibra de bagazo de caña y concreto, donde se encontró que el compuesto con las fibras retenidas por el tamiz N°6, y con una adición entre el 0,5 y 2,5% de fibras en relación al peso total del agregado grueso, presentó una resistencia de 16,88 MPa, y una densidad de 141 y 336kg/m³ comparado con la de un concreto pesado de 2400 kg/m³. (Osorio, Varón, & Herrera, 2007)

Otro estudio explica la sustitución de cemento hidráulico convencional por cenizas volantes activadas alcalinamente para la producción de mortero, donde se pudo obtener un producto que cumple con los requerimientos físicos y mecánicos especificados en las normas NTC, implementando un material ecológico de bajo impacto ya que cumplía con los parámetros mecánicos y de durabilidad reglamentarios. (Castaño, Robayo, & Sánchez, 2013)

El objetivo de estudiar las características de los diferentes materiales, tanto empleando o reciclando los desechos, sirve para plantear alternativas que sustituyan a los materiales tradicionales produzcan un significativo ahorro en los costos, pudiendo aplicarse a pequeños proyectos y luego expandirse a nivel industrial, aplicado masivamente a diversos proyectos habitacionales, urbanos, suburbanos y rurales, además de hacerlos más asequibles a un gran número de personas de bajos ingresos, como lo expresan los artículos seleccionados.

Sobre el impacto que ocasionan

Existen diversos métodos para analizar la selección de los materiales como el método tradicional, mapas de Ashby o bases de datos, es necesario recalcar que “la selección correcta de un material depende de una gran cantidad de factores, lo que hace que esta no sea una tarea sencilla, pero que se puede llegar a una buena aproximación” (González & Mesa, 2004); de igual manera se tienen herramientas como la del Análisis de Ciclo de Vida (ACV) para analizar el impacto que ocasionan estos materiales.

En base al estudio del rendimiento energético en etapa de uso y al Análisis del Ciclo de Vida de los materiales, un estudio realiza el desarrollo de conocimientos relacionados con la eficiencia energética-ambiental del sector edilicio residencial en la región NEA, a través de la comparación de dos tecnologías; por un lado, la del empleo de la madera de origen forestal mediante técnicas de construcción en seco y, por otro, la construcción tradicional mediante técnicas convencionales de mampuestos o húmedas, obteniéndose que los materiales alternativos son mucho más sostenibles y menos contaminantes que los convencionales. (Alías & Jacobo, 2008)

Diversos artículos estudian los materiales de construcción alternativos para cada componente de un edificio, especificando que:

La utilización de materiales adecuados, que signifiquen un menor costo energético en su producción, que provengan preferiblemente de fuentes renovables, con posibilidad de reciclaje y que además no afecten a la salud, son los requisitos para hacer de las construcciones un lugar ambientalmente sensible, económicamente sustentable y humanamente habitable. (Hess, 2005, p. 4)

Todos estos artículos científicos tienen como principal característica, analizar los materiales y evaluar el impacto que tienen en relación con los materiales convencionales, para lo cual aplican el método del Análisis del Ciclo de Vida de los materiales, el mismo que permite analizarlos en cada etapa, desde las entradas hasta las salidas.

Sobre las estrategias para disminuir el impacto ambiental

Como estrategias para poder disminuir el impacto ambiental mediante el uso de materiales alternativos de construcción, se encontraron 03 artículos, uno de los cuales busca desarrollar un conjunto de estrategias y plantear una agenda de I&D que permiten definir las características que se aspira detenten las edificaciones, particularmente viviendas, para el logro de una mayor sostenibilidad o ecoeficiencia. (Glinka, Vedoya, & Pilar, 2006)

Otro artículo tiene como objetivo general investigar la posibilidad de reciclaje y reutilización de RCD (Residuos de Construcción y Demolición) y de componentes constructivos (puertas, ventanas, vigas, artefactos sanitarios, revestimientos, tejas, y otros materiales similares que puedan ser reutilizados directamente o con transformaciones mínimas), que habiendo sido desechados en antiguas obras, resulten útiles en obras nuevas, en el marco del impacto ambiental de la construcción en todas sus etapas. Otro aspecto para abordar es la generación de residuos de obra y en particular la incidencia de los envases de los materiales de construcción. (Borsani, 2011)

Ambos coinciden en que lo más conveniente es la reutilización de los materiales que resultan de la demolición y residuos de la construcción, en donde se les de un nuevo uso, poniendo en práctica nuevas tecnologías que permitan aprovechar el reciclaje y reutilización para conseguir materiales ecoeficientes.

El tercer artículo presenta un modelo productivo que es la ecología industrial y se basa en el ejemplo de la biosfera como máquina de reciclar, esto supone la eliminación del concepto de residuo y se puede resumir en el ciclo continuo de reciclaje-fabricación-uso-reciclaje. (Wadel, Avellaneda, & Cuchí, 2010) Coincidiendo con los artículos anteriores, todos se basan principalmente en la creación de nuevos materiales alternativos y sostenibles en base a la reutilización y así optar por el ciclo cerrado de los materiales, los mismos que optan por convertir los residuos en recursos y no permitir que al finalizar su ciclo de vida útil vayan a dar nuevamente a la tierra, sino sean reutilizados en nuevos materiales, siempre teniendo en cuenta el cumplir con los requisitos y normas mínimas exigibles en cuanto a resistencia, durabilidad, entre otras características, dependiendo del uso y material para el que vayan a destinarse.

Sobre la evaluación del impacto

Se evaluarán los factores que condicionan el impacto ambiental desde la perspectiva de los recursos materiales consumidos durante la fase de construcción de la edificación, desde la extracción y fabricación de materiales hasta la deconstrucción o reciclado.

En un trabajo se realiza un ejemplo práctico en el que se identifican y cuantifican los recursos consumidos en la ejecución de una cimentación. El 100% de los recursos consumidos constituyen barreras a la sostenibilidad, bien por no ser renovables (90% de los recursos consumidos) o por la toxicidad que produce su fabricación o puesta en obra para las personas (10% restante). (Wadel et al., 2010)

Lo mismo plantea otro artículo, en el que a partir de los sistemas de construcción modular ligera que se comercializan bajo el sistema de alquiler, se puede desarrollar un sistema de gestión de los recursos empleados en el ciclo de vida de los edificios capaz de

cerrar los ciclos materiales hasta en un 90%, coincidiendo con la investigación anterior que, en la construcción convencional se alcanza un 10%. (Mercader, Marrero, Solís, Montes, & Ramírez, 2010)

Habiendo visto los resultados de los artículos científicos determinados según las bases de datos, se observa la preocupación por intentar disminuir la contaminación que se da en la construcción, puesto que la edificación y las infraestructuras consumen entre el 45% y el 60% de los materiales extraídos de la litósfera y su utilización están en el origen de la mitad de las emisiones de CO₂ que se vierten a la atmósfera. Estos edificios son construidos de diversos tipos y para diversas funcionalidades, pero su extracción, transformación y deposición final al medio ambiente, una vez acabada su vida útil, asume significativamente gran parte del impacto medioambiental global. (Borsani, 2011).

Considerando estos datos e investigaciones, se observa que la tendencia en la investigación se va dando hacia la implementación del ciclo cerrado de los materiales, de manera que una vez que cumplan con su función, puedan ser reciclados para la elaboración de nuevos materiales, evitando impactar negativamente a su entorno y contribuyendo a la disminución de la contaminación que se da en el ámbito de la construcción. Estos materiales buscan mejorar las características de los materiales convencionales, aportando además características sostenibles y de bajo costo, de manera que puedan implementarse a gran escala en proyectos y escalas diversas.

Tabla 1

Principales Hallazgos

Artículo científico	Materiales alternativos	Características y Propiedades	Impacto en el medio ambiente
Los materiales alternativos estabilizados y su impacto ambiental	Bloques de Tierra Comprimida (BTC) estabilizados con Hidróxido de calcio	<p>Miden: 29cmx14cmx10cm. Masa unitaria: 6.80 kg. Capacidad de carga similar a los BTC con cemento. Resistencia obtenida, en promedio, con el Hidróxido de calcio de 1.67% mayor que la del cemento CPO-20.</p>	<p>Los BTC estabilizados con hidróxido de calcio tienen un menor impacto ambiental, desde la fabricación construcción, mantenimiento y fin de vida. Además, tienen mejor comportamiento que los bloques de concreto, excepto en la energía incorporada, pero producen menos CO² que estos últimos.</p>
Minimización del impacto ambiental en la ejecución de fachadas mediante el empleo de materiales reciclados	Materiales reciclados: paneles reciclados de yeso y placas recicladas de hormigón	<p>Panel reciclado de yeso: compuesto por cenizas de biomasa, yeso, vermiculita sin moler, fibra de vidrio y agua, de baja densidad (<900kg/m³) con un sencillo método de fabricación, alta resistencia al fuego y resistencia a compresión superior a 1 MPa. La placa de hormigón reciclado: compuesto por áridos reciclados, cemento y agua.</p>	<p>Logra significativas reducciones de energía incorporada y emisiones, los materiales con baja energía incorporada, reducen proporcionalmente las emisiones de CO₂, puesto que no se fabrican con energías limpias. En el peso de los residuos se genera 0,208 kg/m² a diferencia de la solución original de 3,1 kg/m². Se tiene una disminución significativa de impactos, que se logra en las etapas de extracción, producción y gestión de residuos, importantes reducciones en consumo de materia prima y energía primaria, que se consiguen cuando se interviene en la etapa de uso y mantenimiento del edificio Impacto económico: reducción en coste de paneles de yeso laminado pero un incremento en paneles de hormigón reciclados, compensándose si se fabrican in situ con los propios residuos de la obra.</p>
Evaluación ambiental comparativa de materiales mampuestos aplicados en muros de viviendas en regiones áridas andinas	ladrillos alternativos de arena-cemento	Bloques de ladrillo que no requieren cocción ni otro tipo de energía para su elaboración	<p>El impacto ambiental de los muros contruidos con ladrillos de arena-cemento es notablemente mejor que el de los muros contruidos con ladrillos tradicionales en cuanto a toxicidad permanente, toxicidad humana, formación de ozono fotoquímico, eutrofización y acidificación; excepto en el potencial de producción de efecto invernadero en el que superan los ladrillos tradicionales debido a la energía térmica que emplean para su cocción.</p>

La sostenibilidad en la arquitectura industrializada: cerrando el ciclo de los materiales	Sistemas constructivos: modular basado en hormigón (Compact Habit), modular basado en madera (Diemodulfabrik KLH) y modular basado en acero (Yorkon)	Sistemas prefabricados, modulares y de uso temporal.	Sí es posible plantear un tipo de edificación que cierre significativamente sus ciclos materiales, en donde los residuos se vuelvan a convertir en recursos. La clave reside en el control y la gestión continua de los recursos a lo largo del ciclo de vida, abriéndose muchas posibles aplicaciones en el sector de la edificación y con ello disminuir el impacto en el medioambiente.
Materiales de construcción sostenibles: Comportamiento mecánico y durabilidad de morteros con cenizas volantes activadas alcalinamente	Morteros geopoliméricos	Mezcla 1 y 6: con cemento portland y de uso general. Mezcla 2: con ceniza volante activada 100% NaOH. (igualó y mejoró las propiedades de Resistencia mecánica, en altas temperaturas y en medios agresivos, de las dos mezclas de control con cemento hidráulico). Mezcla 3, 4 y 5: con ceniza volante activada, NaOH y Na ₂ SiO ₃ .	Las mezclas de mortero con cenizas volantes activadas alcalinamente cumplen con la evaluación del desempeño mecánico y de la durabilidad, pretendiendo, con ello, dar un paso hacia la implementación de materiales ecológicos de bajo impacto y que cumplan con los requerimientos reglamentados.

Para la elaboración de esta tabla, se tuvo en cuenta los criterios de inclusión, considerándose los artículos entre los años 2009-2017 y seleccionando aquellos que se refieren exclusivamente a ejemplos de materiales y sus aplicaciones en el diseño de un proyecto.

De la tabla anterior, se observa que los materiales con baja energía incorporada, reducen proporcionalmente las emisiones de CO₂, puesto que no se fabrican con energías limpias, esta disminución significativa de impactos se logra en las etapas de extracción, producción y gestión de residuos, reduciéndose el consumo de materia prima y energía primaria.

Así mismo, la búsqueda y selección de materiales más benignos para el medio ambiente es de gran importancia para disminuir el impacto que ocasionan, por lo que se debe buscar la conversión de todos los residuos en recursos y lograr cerrar el ciclo de los materiales; este impacto se puede analizar mediante el Ciclo de Vida.

Es posible poner en evidencia los impactos ambientales que cada elección determina, y rastrear los materiales o procesos que los causan, cuantificando su influencia. Esto es muy importante, ya que muchas veces se tienen nociones equivocadas acerca de lo que es más benigno o más dañino para el ambiente, las que surgen de considerar sólo una parte del ciclo de vida completo de los objetos analizados. Sin duda, lo que es más dañino para el ambiente es la ignorancia acerca de las características ambientales de los sistemas, productos y servicios con los que se interactúa. (Mitchell & Arena, 2010, p. 5)

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

DISCUSIÓN

De acuerdo a los antecedentes seleccionados, la investigación sobre materiales alternativos va enfocándose hacia la elaboración de nuevos materiales con componentes obtenidos de residuos de la construcción, logrando nuevos materiales con las mismas o mejores características que los materiales convencionales, y sobre todo sin generar un gasto económico adicional.

La generación de materiales a través de nuevos componentes a base de residuos es un aspecto que debe potenciarse para poder emplear menos recursos y aprovechando los residuos generados en la industria de la construcción; con ello, se lograría disminuir significativamente el impacto que causa la misma en el medio ambiente.

CONCLUSIONES

La revisión sistemática identifica una gran variedad de materiales alternativos, que también se denominan no convencionales o ecológicos, teniéndose la limitación de no poder obtener datos que generalicen la disminución del impacto ambiental que ocasionan, puesto que cada artículo se enfoca en diferentes materiales, características y usos de los mismos; pero todos están relacionados con el aspecto sostenible en la construcción; para lo cual se abordan temas de reciclaje y reutilización de los materiales, buscando evitar la contaminación desde la elaboración de los materiales hasta el fin del uso de la edificación, ya sea incorporando nuevos componentes dentro de su elaboración, evaluando nuevas estrategias y métodos de selección de materiales, analizando el impacto ambiental que ocasionan y/o evaluando la disminución de estos impactos mediante diversos métodos como el Análisis del Ciclo de Vida.

En la actualidad existen diversos materiales alternativos que buscan ser sostenibles al reutilizar los residuos de construcción dentro de sus componentes, otorgando mayores características mecánicas que los materiales convencionales, pero disminuyendo considerablemente el impacto ambiental y mejorando, por ende, el confort y la salud del ser humano. En base a ello, sería de gran importancia investigar los materiales alternativos que, además de contribuir con la sostenibilidad, ofrezcan confort térmico sin que ello involucre un mayor costo económico; esto, con la finalidad de poder emplearlos en viviendas ubicadas en la altura, donde existen climas fríos y fríos extremos, de manera que apoyen a mejorar la calidad de vida de estas personas de condiciones económicas bajas.

REFERENCIAS

- Acosta, D., & Clinto, A. (2005). Edificaciones sostenibles: Estrategias de investigación y desarrollo. *Tecnología y Construcción*, 21(1), 15-30.
- Alías, H. M., & Jacobo, G. J. (2008). Construcción sostenible: Materiales de construcción energética y ambientalmente eficientes en el nordeste de Argentina. *Ciudades para un Futuro más Sostenible*, 35.
- Andrade, M. Y. (2015). *Sistema constructivo modular con materiales alternativos que favorezca a la flexibilidad en la construcción de vivienda*. (Tesis de maestría). Universidad Autónoma del Estado de México, México.
- Borsani, M. S. (2011). *Materiales ecológicos: Estrategias, alcance y aplicación de los materiales ecológicos como generadores de hábitats urbanos sostenibles*. (Tesis de máster). Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, España.
- Castaño, J. O., Robayo, E., & Sánchez, E. H. (2013). Materiales de construcción sostenibles: Comportamiento mecánico y durabilidad de morteros con cenizas volantes activadas alcalinamente. *Tecnura: Tecnología y Cultura Afirmando el Conocimiento*, 17, 79-89.
- Glinka, M. E., Vedoya, D. E., & Pilar, C. A. (2006). Estrategias de reciclaje y reutilización de residuos sólidos de construcción y demolición. *Comunicaciones Científicas y Tecnológicas 2005*, (T-037). Recuperado de <http://www.unne.edu.ar/unnevieja/Web/cyt/com2005/7-Tecnologia/T-037.pdf>
- González, H. A., & Mesa, D. H. (2004). La importancia del método en la selección de materiales. *Scientia Et Technica*, X(24), 175-180.
- Hess, A. (2005). Impacto Ambiental de Componentes y Materiales de Edificios. *Comunicaciones Científicas y Tecnológicas 2005*, (T-032). Recuperado de <http://www.unne.edu.ar/unnevieja/Web/cyt/com2005/7-Tecnologia/T-032.pdf>
- Marrero, M., Martínez-Escobar, L., Mercader, M. P., & Leiva, C. (2013). Minimización del impacto ambiental en la ejecución de fachadas mediante el empleo de materiales reciclados. *Informes de la Construcción*, 65(529), 89-97.
- Mercader, M. P., Marrero, M., Solís, J., Montes, M. V., & Ramírez, A. (2010). Cuantificación de los recursos materiales consumidos en la ejecución de la cimentación. *Informes de la Construcción*, 62(517), 125-132.

- Mitchell, J., & Arena, A. (2010). *Evaluación ambiental comparativa de materiales mampuestos aplicados en muros de viviendas en regiones áridas andinas*. Recuperado de <https://docplayer.es/31096770-Evaluacion-ambiental-comparativa-de-materiales-mampuestos-aplicados-en-muros-de-viviendas-en-regiones-aridas-andinas.html>
- Ochoa, M., & Toirac, J. (2005). Materiales de bajo costo para la construcción de viviendas económicas. *Ciencia y sociedad*, 30(1), 196-231.
- Osorio, J., Varón, F., & Herrera, J. (2007). Comportamiento mecánico del concreto reforzado con fibras de bagazo de caña de azúcar. *Dyna*, 74(153), 69-79.
- Pereyra, V. (2013). Concurso ECORIDE 2013: Una respuesta ecoamigable para el transporte urbano. *Revistarquis*, 2(4), 143-157.
- Rodríguez, Rondón, Vélez, & Aguirre. (2006). Influencia de la inclusión de desecho de PVC sobre el CBR de un material granular tipo subbase. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 5(9), 21-30.
- Roux, R. S., García, V. M., & Espuna, J. A. (2014). Los materiales alternativos estabilizados y su impacto ambiental. *Nova scientia*, 7(13), 243-266.
- Vargas, M., & Romero, L. (2006). Aprovechamiento de materiales en el desarrollo de coagulantes y floculantes para el tratamiento de aguas. *Tecnología en marcha*, 19(4), 37-41.
- Velásquez, J. (2014). Una guía corta para escribir Revisiones Sistemáticas de Literatura Parte 2. *Dyna*, 81(188), 9-10.
- Wadel, G., Avellaneda, J., & Cuchí, A. (2010). La sostenibilidad en la arquitectura. *Informes de la Construcción*, 62(517), 37-51.

ANEXOS

Anexo 1

Base de Datos

	Authors	Title	Year	Link	Affiliations	Abstract	Author Keywords	Motivos de exclusión	Motivos de inclusión
1	Andrade, M.Y.	Sistema constructivo modular con materiales alternativos que favorezca a la flexibilidad en la construcción de vivienda	2015	Google Académico	México	Tesis que propone usar técnicas constructivas tradicionales y sistemas prefabricados con un sistema modular y el uso de materiales alternativos a los convencionales, reciclados y naturales.			Palabra clave Fecha Idioma Base de datos Tipo de investigación
2	Roux, R. S.; García, V. M. & Espuna, J. A.	Los materiales alternativos estabilizados y su impacto ambiental	2014	Google Académico		Experimentación de materiales alternativos para la edificación con Bloques de Tierra Comprimida (BTC), y corroborar que cumplen con requisitos de calidad, aunado a la realización del análisis de ciclo de vida (ACV) en dos poblaciones de BTC's estabilizados con cementantes, buscando determinar su impacto ambiental y poder contrastarlos con las bases de datos existentes de materiales convencionales.			Palabra clave Fecha Idioma Base de datos Tipo de investigación
3	Pereyra, V.	CONCURSO Ecoride 2013 Una respuesta ecoamigable para el transporte urbano Estudiantes de Grado de Arquitectura de la Universidad de Costa Rica	2013	Google Académico	Costa Rica	Esta iniciativa, en modalidad de concurso de diseño, tuvo como premisa desarrollar una investigación en cuanto a materiales constructivos alternativos que propician la construcción real de módulos de aparcamiento para bicicletas de fácil ensamblaje y construcción, fomentando así el transporte interurbano ecológico y sustentable, y a su vez, logrando solventar las necesidades bioclimática contextuales y de sus usuarios como plan piloto de la Escuela de Estudios Generales de la Universidad de Costa Rica.	sostenible, bicicletas, concurso, ecológico, parqueo		Palabra clave Fecha Idioma Base de datos Tipo de investigación
4	Castaño, J.O., Robayo, E. & Sánchez, E.H.	Materiales de construcción sostenibles: comportamiento mecánico y durabilidad de morteros con cenizas volantes activadas alcalinamente	2013	Dialnet	Colombia	Este proyecto principalmente se basó en la sustitución de cemento hidráulico convencional por cenizas volantes activadas alcalinamente para la producción de mortero, donde se pudo obtener un producto que cumple con los requerimientos físicos y mecánicos especificados en las normas NTC. Mediante la evaluación del desempeño mecánico y de la durabilidad de las diferentes mezclas de mortero con cenizas volantes activadas alcalinamente, se pretende dar un paso hacia la implementación de materiales ecológicos de bajo impacto, puesto que algunas mezclas cumplieron con parámetros mecánicos y de durabilidad reglamentarios en nuestro país.	materiales de construcción, sostenibilidad, materiales no basados en cemento, mortero geopolimérico.		Palabra clave Fecha Idioma Base de datos Tipo de investigación

MATERIALES ALTERNATIVOS SOSTENIBLES EMPLEADOS EN LA
CONSTRUCCIÓN

5	Marrero, M.; Martínez-Escobar, L.; Mercader, M. P. & Leiva, C.	Minimización del impacto ambiental en la ejecución de fachadas mediante el empleo de materiales reciclados	2013	Google Académico	España	Nuevos materiales de construcción reciclados propuestos para minimizar el impacto ambiental y económico de las fachadas, comprobando mediante el modelo de cuantificación cómo se reduce significativamente el impacto ambiental sin incrementar el económico, quedando demostrada la sensibilidad del modelo.	Construcción sostenible; materiales reciclados; impacto medioambiental; impacto económico; fachada	Palabra clave Fecha Idioma Base de datos Tipo de investigación
6	Borsani, M.S.	Materiales ecológicos: estrategias, alcance y aplicación de los materiales ecológicos como generadores de hábitats urbanos sostenibles	2011	Google Académico		Reflexión sobre la relación entre el ciclo de vida de los materiales de la construcción y el ambiente natural, el conocimiento de los instrumentos actualmente a disposición para la elección de un material y para la evaluación de su impacto ambiental y las potencialidades de nuevos materiales ecológicos en la construcción de nuestras futuras ciudades.	Sustainable buildings, Building materials, Environmental aspects	Palabra clave Fecha Idioma Base de datos Tipo de investigación
7	Mitchell, J. & Arena, A.	Evaluación ambiental comparativa de materiales mampuestos aplicados en muros de viviendas en regiones áridas andinas	2010	Google Académico		Compara el impacto ambiental del uso de ladrillos tradicionales de arcilla con el de ladrillos alternativos de arena-cemento, utilizando como método el Análisis del Ciclo de Vida. Los resultados indican considerables beneficios asociados al uso de ladrillos de arena-cemento y a la aislación de muros externos.		Palabra clave Fecha Idioma Base de datos Tipo de investigación
8	Wadel, G., Avellaneda, J. & Cuchí, A.	La sostenibilidad en la arquitectura industrializada: cerrando el ciclo de los materiales	2010	Scopus	España	Plantear que a partir de los sistemas de construcción modular ligera que se comercializan bajo el sistema de alquiler, se puede desarrollar un sistema de gestión de los recursos empleados en el ciclo de vida de los edificios capaz de cerrar los ciclos materiales hasta en un 90% (en la construcción convencional se alcanza un 10%).	Sostenibilidad, impacto ambiental arquitectura industrializada, construcción modular, ciclo de los materiales	Palabra clave Fecha Idioma Base de datos Tipo de investigación
9	Mercader, M. P.; Marrero, M.; Solís, J.; Montes, M. V. & Ramírez, A.	Quantification of material resources consumed during concrete slab construction	2010	Scopus		Se evaluarán los factores que condicionan el impacto ambiental desde la perspectiva de los recursos materiales consumidos durante la fase de construcción de la edificación, desde la extracción y fabricación de materiales hasta la deconstrucción o reciclado. Se presenta un ejemplo práctico en el que se identifican y cuantifican los recursos consumidos en la ejecución de una cimentación. El 100% de los recursos consumidos constituyen barreras a la sostenibilidad, bien por no ser renovables (90% de los recursos consumidos) o por la toxicidad que produce su fabricación o puesta en obra para las personas (10% restante).	sustainable construction, resources identification and quantification, environmental impact.	Palabra clave Fecha Idioma Base de datos Tipo de investigación
10	Alías, H.M. & Jacobo, G.J.	Construcción sostenible. Materiales de construcción energética y ambientalmente eficientes en el nordeste de Argentina	2008	Google Académico	España	El objetivo general fue aportar herramientas de análisis que contribuyan al desarrollo de conocimientos relacionados con la eficiencia energética-ambiental del sector edilicio residencial en la región NEA, a través de la comparación de dos tecnologías; por un lado, la del empleo de la madera de origen forestal mediante técnicas de construcción en seco y, por otro, la construcción tradicional mediante técnicas convencionales, de mampuestos o húmedas, en base al estudio del	Referente histórico, no corresponde a fecha para base científica	

						rendimiento energético en etapa de uso y al Análisis de Ciclo de Vida (ACV) en toda la cadena productiva del sistema-producto, dentro de la cual la etapa de uso es altamente significativa.		
11	Osorio, J.A., Varón, F. & Herrera, J.A.	Mechanical behavior of the concrete reinforced with sugar cane bagasse fibers	2007	Scielo	Colombia	Se preparó un material compuesto de fibra de bagazo de caña y concreto, donde las fibras presentaron una distribución aleatoria dentro del compuesto. Se estudió la influencia del tamaño y de la adición de fibras expresadas en porcentaje del peso total, en la resistencia a compresión y en la densidad del material. Este estudio encontró que el compuesto con las fibras retenidas por el tamiz N° 6, y con una adición entre el 0,5 y 2,5% de fibras en relación al peso total del agregado grueso, presentó una resistencia de 16,88 MPa, y una densidad de 141 y 336kg/m ³ comparado con la de un concreto pesado de 2400 kg/m ³ .	Fibra de bagazo de caña de azúcar; Materiales compuestos; Materiales de construcción.	Referente histórico, no corresponde a fecha para base científica
12	Glinka, M.E., Vedoya, D.E. & Pilar, C.A.	Estrategias de reciclaje y reutilización de residuos sólidos de construcción y demolición	2006	Google Académico		El presente trabajo tiene como objetivo general investigar la posibilidad de reciclaje y reutilización de RCD (Residuos de Construcción y Demolición) y de componentes constructivos (puertas, ventanas, vigas, artefactos sanitarios, revestimientos, tejas, y otros materiales similares que puedan ser reutilizados directamente o con transformaciones mínimas), que habiendo sido desechados en antiguas obras, resulten útiles en obras nuevas, en el marco del impacto ambiental de la construcción en todas sus etapas. Otro aspecto a abordar es la generación de residuos de obra y en particular la incidencia de los envases de los materiales de construcción.	Reducción – Reutilización – Reciclaje	Referente histórico, no corresponde a fecha para base científica
13	Rodríguez, Rondón, Vélez & Aguirre	Influencia de la inclusión de desecho de PVC sobre el CBR de un material granular tipo subbase	2006	Google Académico	Costa Rica	Utilización de desecho de PVC como material de adición, para modificar el comportamiento de una subbase granular. Los resultados de la investigación muestran que el CBR de una mezcla de material granular, tipo subbase, y material de desecho, presenta un incremento notable y logra cambiar el peso unitario del material, obteniéndose una mezcla con mayor resistencia y menor peso.	Tratamiento de aguas, coagulantes, floculantes	Referente histórico, no corresponde a fecha para base científica
14	Vargas & Romero,	Aprovechamiento de materiales en el desarrollo de coagulantes y floculantes para el tratamiento de aguas	2006	Google Académico		Pretende encontrar materiales alternativos y de bajo costo para utilizarlos como coagulantes y floculantes para el proceso de tratamiento de aguas tanto potables como residuales.		Referente histórico, no corresponde a fecha para base científica
15	Acosta, D. & Ciento, A.	Edificaciones sostenibles: estrategias de investigación y desarrollo	2005	Google Académico		Desarrollar un conjunto de estrategias y plantear una agenda de I&D que permiten definir las características que se aspira detentan las edificaciones, particularmente viviendas, para el logro de una mayor sostenibilidad o ecoeficiencia.		Referente histórico, no corresponde a fecha para base científica

MATERIALES ALTERNATIVOS SOSTENIBLES EMPLEADOS EN LA
CONSTRUCCIÓN

16	Hess, A.A.	Impacto Ambiental de Componentes y Materiales de Edificios	2005	Google Académico	Argentina	En este trabajo se presenta la influencia sobre el medio ambiente, de manera general, de los componentes de un edificio y de los materiales de construcción, su influencia nociva o toxicidad y se señalan algunos materiales alternativos.		Referente histórico, no corresponde a fecha para base científica
17	Ochoa, M.T. & Toirac, J.	Materiales de bajo costo para la construcción de viviendas económicas	2005	Google Académico		El artículo recoge resultados concretos sobre la producción y uso de nuevos materiales de construcción alternativos a partir de materias primas nacionales. Estos, al sustituir los tradicionales producen un significativo ahorro en los costos, pudiendo, luego de su desarrollo a nivel industrial ser aplicado masivamente a diversos proyectos habitacionales, urbanos, sub-urbanos y rurales, además de hacerlos más asequibles a un gran número de personas de bajos ingresos.	Vivienda, materiales de bajo costo, aglomerantes, puzolana, pintura cementosa.	Referente histórico, no corresponde a fecha para base científica
18	González, H. A. & Mesa, D. H.	La importancia del método en la selección de materiales	2004	Google Académico		Resaltar la correcta selección de materiales para un fin específico. Se analiza métodos utilizados en la selección de materiales, desde convencionales, gráficos o con ayuda de software (bases de datos).	Métodos para la selección de materiales, hojas de resorte de ballesta	Referente histórico, no corresponde a fecha para base científica

La presente tabla muestra las investigaciones recopiladas según base de datos, esto con la finalidad de analizar cómo ha ido avanzando la investigación sobre materiales alternativos sostenibles en la construcción en la última década y que va enfocándose hacia el empleo de residuos en la elaboración de nuevos materiales con las mismas o mejores características, a comparación de los materiales convencionales, en aspectos de resistencia, confort acústico, confort térmico.